

10/560247

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-307880

(43)Date of publication of application : 05.11.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01L 33/00

(21)Application number : 10-123990

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 17.04.1998

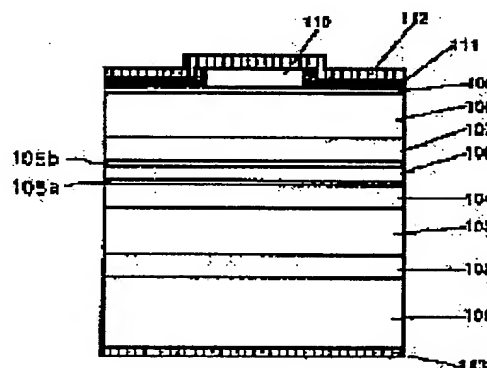
(72)Inventor : TAKAHASHI TAKASHI

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an AlGaInNP base semiconductor light emitting device by which light emitting efficiency can be improved.

SOLUTION: An n type GaAs buffer layer 102, an n type (Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P clad layer 103, a non doped (Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}LP lower light conductive wave layer 104, a non doped Ga_{0.5}In_{0.5}P intermediate layer 105a, a non doped Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99} light emitting layer 106, a non doped Ga_{0.5}In_{0.5}P intermediate layer 105b, a non doped (Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P upper light conducting wave layer 107, a p type (Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P clad layer 108, a p type Ga_{0.5}In_{0.5}P spike preventing layer 109, and a p type GaAs contact layer 110, are layered in sequence on an n type GaAs substrate 110.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-307876

(43) 公開日 平成11年(1999)11月5日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

G 1 1 B 7/125

G 1 1 B 7/125

A

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-115048

(22) 出願日 平成10年(1998)4月24日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 高橋 孝志

東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式会社リコー内

(72) 発明者 佐藤 俊一

東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式会社リコー内

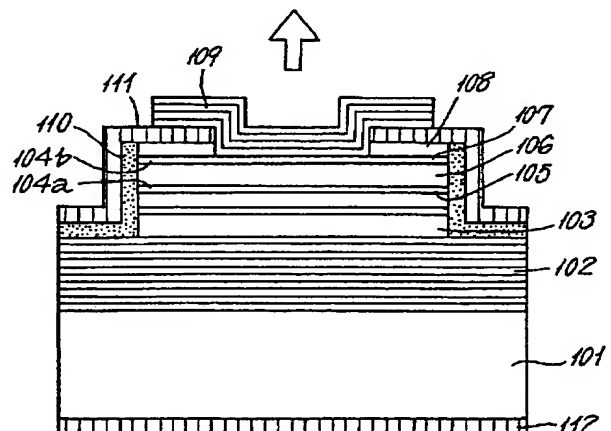
(74) 代理人 弁理士 樺山 亨 (外1名)

(54) 【発明の名称】 面発光型半導体レーザ素子、光ディスク記録再生装置及びプラスチック光ファイバ用光送信装置

(57) 【要約】

【課題】この発明は、発光波長が0.85 μ mよりも長波長の発光しか得られていないという課題を解決しようとするものである。

【解決手段】この発明は、結晶基板101上に下部反射鏡102、発光層105及び上部反射鏡109を積層し、前記結晶基板101に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層105に、構成元素として窒素を含むGa_xIn_{1-x}N_yP_{1-y}の混晶半導体を用いたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】結晶基板上に下部反射鏡、発光層及び上部反射鏡を積層し、前記結晶基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層に、構成元素として窒素を含む $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ の混晶半導体を用いたことを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項2】GaAs基板上に、 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($b < a \leq 1$)と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($0 \leq b < a$)を交互に積層して形成した下部多層膜反射鏡と、発光層と、 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($b < a \leq 1$)と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($0 \leq b < a$)を交互に積層して形成した上部多層膜反射鏡とを積層し、前記GaAs基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層に、構成元素として窒素を含む $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 混晶半導体を用いたことを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項3】請求項2記載の面発光型半導体レーザ素子において、構成元素として窒素を含む $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 発光層と、 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ からなる障壁層もしくは光導波層もしくはクラッド層との間に、構成元素としてAlと窒素を含まないIII～V族半導体材料からなる中間層を設けたことを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項4】請求項2または3記載の面発光型半導体レーザ素子において、発光層とコンタクト層を除く半導体層構造を、AlInP、GaInPまたはAlInPとGaInPを周期的に積層した超格子構造で構成したことを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項5】請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたことを特徴とする光ディスク記録再生装置。

【請求項6】請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたことを特徴とするプラスチック光ファイバ用光送信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は面発光型半導体レーザ素子、光ディスク記録再生装置及びプラスチック光ファイバ用光送信装置に関する。

【0002】

【従来の技術】発光波長が $0.63 \sim 0.68 \mu m$ の半導体レーザ素子の材料としては、従来AlGaInP系が用いられている。図7は従来の面発光型AlGaInP系半導体レーザ素子の断面構造(特開平7-263799号公報参照)を示す。図7において、1はn型GaAs基板、2はn型GaAsバッファ層、3は第1のn型 $(Al_{0.1}Ga_{0.9})_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層、4は第2のn型 $(Al_{0.4}Ga_{0.6})_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層、5はn型

DBR反射鏡層、6は圧縮歪活性層、7はp型DBR反射鏡層、8はp型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 中間層、9はp型GaAsコンタクト層、10はSiO₂パッシベーション層、11はn側電極、12はp側電極である。

【0003】n型DBR反射鏡層5は、Se濃度 $3 \times 10^{17} cm^{-3}$ マイナス3乗の $Al_{0.5}In_{0.5}P$ と $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ を各層170nmの厚さで交互に25層ずつ積層したものであり、p型DBR層7は、Zn濃度 $3 \times 10^{17} cm^{-3}$ マイナス3乗の $Al_{0.5}In_{0.5}P$ と $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ を各層170nmの厚さで交互に25層ずつ積層したものである。

【0004】圧縮歪活性層6はSe濃度 $3 \times 10^{17} cm^{-3}$ マイナス3乗の $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 障壁層0.1 μm 、アンドープ $Ga_{0.46}In_{0.54}P$ 井戸層3nm、アンドープ $(Al_{0.4}Ga_{0.6})_{0.5}In_{0.5}P$ 障壁層5nm、アンドープ $Ga_{0.46}In_{0.54}P$ 井戸層3nm、Zn濃度 $3 \times 10^{17} cm^{-3}$ マイナス3乗の $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 障壁層0.1 μm のDQW構造であり、GaAs基板に比べて格子定数を0.4%大きくすることにより、圧縮歪を生じさせている。

【0005】この面発光型半導体レーザ素子では、圧縮歪の活性層を用いることで、低閾値で発振する可視レーザが得られる。しかしながら、AlGaInP系材料は、伝導帯のバンド不連続が小さいために、電子が活性層からn型クラッド層にオーバーフローしやすいことが知られている。更に、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子においては、共振器長が数 μm と短いので、活性領域の体積が小さくなっている。このため、閾電流は低下するが、閾キャリア密度は高くなってしまいう問題がある。従って、AlGaInP系材料で構成した垂直共振器型面発光半導体レーザ素子においては、高温での動作や高出力動作が困難となっている。

【0006】近年、半導体レーザ素子の温度特性を向上させる試みとして、V族元素として窒素を少量含有した混晶を発光層に用いることが検討されている。窒素を構成元素として導入すると、禁制帯幅の窒素組成に対するボーイングが大きく生ずる。このため、比較的小さい窒素組成の場合に、禁制帯幅が縮小する。このとき、禁制帯幅の縮小は主に伝導帯側で生ずるので、伝導帯のバンド不連続が大きくとれるようになる。

【0007】図8はGaInNAs系材料を用いた1.3 μm 帯の面発光型半導体レーザ素子の断面構造(特開平9-237942号公報参照)を示す。図8において、21はn-GaAs基板、22はn型の半導体多層膜反射鏡、23はGaAsスペーサ層、24は $Ga_{0.8}In_{0.2}N_{0.04}As_{0.96}$ 無歪活性層、25はGaAsスペーサ層、26はp-Al_{0.3}Ga_{0.7}Asクラッド層、27はp-GaAsコンタクト層である。

【0008】活性層24は0.95eVのバンドギャップを持つノンドープのGaInNAs層を用いている。

10

20

30

40

50

半導体多層膜反射鏡22は半導体中で1/4波長厚の高屈折率の $Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.01}As_{0.99}$ 層と半導体中で1/4波長厚の低屈折率の $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層を交互に27対積層している。この両層はともに基板21に格子整合する組成比に設定している。半導体層22~27は有機金属気相エピタキシ装置で結晶成長させている。次に、化学気相堆積工程とホトレジスト工程により、直径10 μm の円形の SiO_2 膜を形成し、これをマスクとしてn型の半導体多層膜反射鏡22の途中までウェットエッチングしてメサ状にする。この後、 SiO_2 マスクを残したまま、化学気相堆積工程により SiO_2 保護膜28を形成し、ポリイミドを塗布して硬化させる。

【0009】次に、反応性イオンビームエッチングにより SiO_2 マスクが露出するまでポリイミドをエッチングしてポリイミド層29を形成する。続いて、メサの上部の SiO_2 マスクを除去して平坦な面を得る。この後、リフトオフ法によりリング状のp側電極30を形成し、更に、スパッタ蒸着法により誘電体多層膜反射鏡31を形成し、n側電極32を形成する。

【0010】活性層の $GaInNAs$ は伝導帯のバンド不連続が大きくなり、また $GaAs$ 基板上に格子整合して形成できるため、バンドギャップの大きい $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ をクラッド層として用いることができる。従って、漏れ電流を少なくして面発光レーザの室温連続動作を実現している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上記図8に示した面発光型半導体レーザ素子は、V族元素として窒素を導入しているが、発光波長が0.85 μm よりも長波長帯の発光しか得られていない。そのため、光ディスク装置やプラスチック光ファイバ用の光源として応用することができない。

【0012】請求項1に係る発明は、0.6 μm 帯の可視域において高温高出力動作が可能である面発光型半導体レーザ素子を提供することを目的とする。請求項2に係る発明は、上記目的に加えて共振器の設計が容易で安定に動作する面発光型半導体レーザ素子を提供することを目的とする。請求項3に係る発明は、上記目的に加えて発光特性を改善することができる面発光型半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【0013】請求項4に係る発明は、上記目的に加えてより製作が容易で特性ばらつきが少ない面発光型半導体レーザ素子を提供することを目的とする。請求項5に係る発明は、高密度の記録が可能で温度特性が良好な光ディスク記録再生装置を提供することを目的とする。請求項6に係る発明は、プラスチック光ファイバとの光結合効率が高く温度特性が良好なプラスチック光ファイバ用光送信装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するた

め、請求項1に係る発明は、結晶基板上に下部反射鏡、発光層及び上部反射鏡を積層し、前記結晶基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層に、構成元素として窒素を含む $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ の混晶半導体を用いたものである。

【0015】請求項2に係る発明は、 $GaAs$ 基板上に、 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($b < a \leq 1$)と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($0 \leq b < a$)を交互に積層して形成した下部多層膜反射鏡と、発光層と、
10 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($b < a \leq 1$)と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($0 \leq b < a$)を交互に積層して形成した上部多層膜反射鏡とを積層し、前記 $GaAs$ 基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層に、構成元素として窒素を含む $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ 混晶半導体を用いたものである。

【0016】請求項3に係る発明は、請求項2記載の面発光型半導体レーザ素子において、構成元素として窒素を含む $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ 発光層と、 $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ からなる障壁層もしくは光導波層もしくはクラッド層との間に、構成元素としてAlと窒素を含まないIII~V族半導体材料からなる中間層を設けたものである。

【0017】請求項4に係る発明は、請求項2または3記載の面発光型半導体レーザ素子において、発光層とコンタクト層を除く半導体層構造を、 $AlInP$ 、 $GaInP$ または $AlInP$ と $GaInP$ を周期的に積層した超格子構造で構成したものである。

【0018】請求項5に係る発明は、請求項1~4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたものである。請求項6に係る発明は、請求項1~4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたものである。

【0019】

【発明の実施の形態】まず、請求項1に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態においては、結晶基板上に下部反射鏡、発光層及び上部反射鏡を積層し、前記結晶基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子であって、前記発光層に、構成元素として窒素を含む $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ の混晶半導体を用いたことを特徴としている。

【0020】 $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ は、 $Ga_{x-1}In_{1-x}P$ の3元混晶に、V族元素として窒素を導入した4元混晶材料である。 $Ga_{x-1}In_{1-x}P$ の禁制帯幅は1.35~2.24eVの範囲で直接遷移型となっている。そして、 $Ga_{x-1}In_{1-x}P$ に窒素を少量導入すると、その禁制帯幅は窒素組成1%で約150eV程度縮小する。従って、 $Ga_{x-1}In_{1-x}N_yP_{1-y}$ は、0.6 μm 帯の発光が可能であることがわかる。

【0021】また、 $Ga_{x-1}In_{1-x}P$ に窒素を導入するこ

とによる禁制帯幅の縮小は、主に伝導帯下端が低下することによって生ずる。従って、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ を発光層に用いた場合に、窒素を導入することによって障壁層との伝導帯バンド不連続が大きくなる。これにより、電子の障壁層側へのオーバーフローが小さくなる。このため、 $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ 材料を結晶基板に対して垂直な方向に光を放射する垂直共振器型面発光型半導体レーザ素子の発光層に用いると、 $0.6\mu m$ 帯の面発光型半導体レーザ素子で高温、高出力動作を改善することができる。

【0022】図1は本発明の第1実施形態の面発光型半導体レーザ素子の構造断面を示す。この面発光型半導体レーザ素子は、請求項1に係る発明の一実施形態であり、 n 型 $GaAs$ 基板101上に、 n 型半導体多層膜反射鏡102、 n 型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層103、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 中間層104a、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 中間層104b、 p 型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106、 p 型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層107、 p 型 $GaAs$ コンタクト層108が順に結晶成長法でエピタキシャル成長されている。 n 型半導体多層膜反射鏡102は、 Se ドープ $Al_{0.5}In_{0.5}P$ と Se ドープ $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ を交互に20対積層して形成した。この場合、結晶成長法としては有機金属気相成長法を用いた。

【0023】そして、この積層構造の表面から n 型半導体多層膜反射鏡102に達するまで直径 $10\mu m$ の円筒状にエッチングし、このエッチングで露出した円筒状の側面と n 型半導体多層膜反射鏡102の表面を SiO_2 絶縁膜110で被覆した。 p 型 $GaAs$ コンタクト層108上にはリフトオフ法によりリング状の p 側電極111を形成し、リング状の p 側電極111が形成されていない p 型 $GaAs$ コンタクト層108を p 型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層107の表面まで選択的にエッチングして除去する。エッチングで表面が露出した p 型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層107の上には誘電体多層膜反射鏡109を形成した。この誘電体多層膜反射鏡109は SiO_2 層と TiO_2 層を発光波長の $1/4$ 光学波長厚で交互に6対積層して形成し、基板101の裏面に n 側電極112を蒸着して形成した。

【0024】この第1実施形態の面発光型半導体レーザ素子においては、電流は直径 $10\mu m$ の円筒領域に集中して $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105に注入され、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105内で発光結合して光が放出される。 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105で発生した光は n 型半導体多層膜反射鏡102と誘電体多層膜反射鏡109の間で共振してレーザ発振し、レーザ光が基板101に対して垂直な方向(図1の矢印方向)に取り出される。

【0025】 p 型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層107は、 p 型

$(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106と p 型 $GaAs$ コンタクト層108の間にあって、ヘテロ界面に発生する価電子帯側のスパイクを減少させて正孔の注入効率を高めている。また、 p 型 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 層107は、リング状に形成された p 側電極111から注入された正孔を円筒内で均一に注入するためのキャリア拡散層としての働きも兼ねている。

【0026】発光層105に用いている $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ は格子定数が $GaAs$ 基板101の格子定数よりも小さいために引張歪を有している。そして、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105は、窒素を1%程度導入することによって、発光波長が $680nm$ と長波長化している。また、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105は、窒素を導入することによって、伝導帯下端が $150meV$ 程度低下している。

【0027】従って、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105は、窒素を導入しない場合に比べて、 p 型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106との伝導帯バンド不連続が大きくなる。これにより、電子がエネルギー障壁を乗り越えて p 型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106側へオーバーフローする割合を低減することができる。このため、閾キャリア密度が高い面発光型半導体レーザ素子においても、高温、高出力動作を改善することができる。

【0028】また、この第1実施形態の面発光型半導体レーザ素子においては、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 活性層105と $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層103、106との間に、構成元素として Al と窒素を含まない、 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 中間層104a、104bをそれぞれ設けている。これにより、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 活性層105の表面荒れや発光効率の低下を抑制している。従って、この第1実施形態の面発光型半導体レーザ素子は、閾電流等の発光特性が改善される。

【0029】このように、第1実施形態は、請求項1に係る発明の一実施形態であり、結晶基板101上に下部反射鏡としての n 型半導体多層膜反射鏡102、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.01}P_{0.99}$ 発光層105及び上部反射鏡としての誘電体多層膜反射鏡109を積層し、前記結晶基板101に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層105に、構成元素として窒素を含む $Ga_{1-x}In_xN_yP_{1-y}$ の混晶半導体を用いたので、発光層は窒素の導入により障壁層との伝導帯バンド不連続が大きくなり、電子の障壁層側へのオーバーフローが小さくなる。従って、 $0.6\mu m$ 帯の可視域において高温高出力動作を改善することができる。

【0030】次に、請求項2に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態の面発光型半導体レーザ素子は、 $GaAs$ 基板上に、 $(Al_{1-a}Ga_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層($b < a \leq 1$)と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層

($0 \leq b < a$) を交互に積層して形成した下部多層膜反射鏡と、発光層と、 $(Al_{1-b}Ga_{1+b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) を交互に積層して形成した上部多層膜反射鏡とを積層し、前記GaAs基板に対して垂直な方向に光を放射する面発光型半導体レーザ素子であって、前記発光層に、構成元素として窒素を含むGa、In、N、P、 P_{1-y} 混晶半導体を用いたことを特徴とする。

【0031】この実施形態では、上記請求項1に係る発明の実施形態と同様にGa、In、N、P、 P_{1-y} 材料を発光層に用いているため、 $0.6 \mu m$ 帯の可視域において高温高出力動作を改善することができる。更に、 $(Al_{1-b}Ga_{1+b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) は、GaAs基板に格子整合し、かつGa、In、N、P、 P_{1-y} 混晶半導体よりも禁制帯幅を大きくすることができる。従って、低屈折率層の $(Al_{1-b}Ga_{1+b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と高屈折率層の $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) を発光波長の $1/4$ 光学波長厚で交互に積層することによって、光吸収の少ない高反射率の反射鏡を構成することが可能となる。

【0032】共振器構造の途中で成長層表面を大気さらすと、成長層表面に酸化膜が形成されて屈折率が変動し、共振器構造の共振条件がずれてしまうおそれがある。第2実施形態では、活性層を挟んで下部多層膜反射鏡と上部多層膜反射鏡を、連続した1回の結晶成長で作製できるため、共振器の設計、製作が容易になる。

【0033】図2は本発明の第2実施形態の面発光型半導体レーザ素子の構造断面を示す。この面発光型半導体レーザ素子は、請求項2に係る発明の一実施形態であり、n型GaAs基板101の上に、n型半導体多層膜反射鏡201、n型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層103、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 中間層104a、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202、ノンドープ $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 中間層104b、p型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106、p型 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 層203、p型GaAsコンタクト層204、ノンドープ半導体多層膜反射鏡205が順にエピタキシャル成長されている。

【0034】n型半導体多層膜反射鏡201及びノンドープ半導体多層膜反射鏡205は、一般に $(Al_{1-b}Ga_{1+b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と $(Al_bGa_{1-b})_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) を交互に積層して形成するが、ここでは、 $a=1$ 、 $b=0.2$ としてSeドープ $Al_{0.5}In_{0.5}P$ とSeドープ $Al_{0.2}Ga_{0.8}In_{0.5}P$ を交互に25対積層して形成し、ノンドープ半導体多層膜反射鏡205はノンドープ $Al_{0.5}In_{0.5}P$ とノンドープ $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.5}In_{0.5}P$ を交互に20対積層して形成した。この場合、結晶成長法としては有機金属器相成長法を用いた。こ

に、n型半導体多層膜反射鏡201は、ドーピングについてはノンドープ、n型ドーピング、p型ドーピングの様々な場合があるが、ここでは、n型半導体多層膜反射鏡201はSeドープ(n型)とし、ノンドープ半導体多層膜反射鏡205はノンドープとした。

【0035】そして、この積層構造の表面からp型GaAsコンタクト層204の表面まで直径 $5 \mu m$ の円筒状にエッチングし、このエッチングにより形成した円筒部と同心円状に直径 $10 \mu m$ のSiNマスク層を形成した。そして、このSiNマスク層で覆われていない領域にプロトンを打ち込んで高抵抗領域206を形成し、SiNマスク層を除去した後に、ノンドープ半導体多層膜反射鏡205の表面を除いてp側電極111を形成した。さらに、基板101の裏面にはn型電極112を蒸着した。

【0036】この第2実施形態の面発光型半導体レーザ素子においては、電流はプロトンが打ち込まれていない高抵抗化していない直径 $10 \mu m$ の円形領域に集中して $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202に注入され、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202内で発光再結合して光を放出する。 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202で発生した光はn型半導体多層膜反射鏡201とノンドープ半導体多層膜反射鏡205の間で共振してレーザ発振し、レーザ光が基板101に対して垂直な方向(図2の矢印方向)に取り出される。

【0037】p型 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 層203は、p型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層106とp型GaAsコンタクト層204の間にあって、ヘテロ界面に発生する価電子帯側のスパイクを減少させて正孔の注入効率を高め、また、直径 $10 \mu m$ の円形領域内で正孔を均一に注入させるためのキャリア拡散層としての働きも兼ねる。

【0038】p型 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 層203は、禁制帯幅が $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202の禁制帯幅よりも大きいので、発光層202で発生した光の吸収が少なくなる。しかし、p型 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 層203は、GaAs基板101に対して格子整合していないため、p型 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 層203の膜厚を $10 nm$ と薄くして臨界膜厚未満とした。

【0039】p型GaAsコンタクト層204は、p側電極111との接触抵抗を低減させる働きをする。しかし、p型GaAsコンタクト層204は、禁制帯幅が $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202よりも小さいため、共振器内においては光の吸収層となってしまう。そこで、p型GaAsコンタクト層204は $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層202で発生した光の吸収をできるだけ抑制するために、p型GaAsコンタクト層204の膜厚を $5 nm$ と薄く形成した。

【0040】発光層202に用いている $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ の発光波長は $650 nm$ となっている。

そして、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層 202 は、窒素を導入することによって、伝導帯下端が 75 meV 程度低下している。従って、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層 202 は、窒素を導入しない場合に比べて、p 型 ($Al_{0.7}Ga_{0.3}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 106 の伝導帯バンド不連続が大きくなり、半導体レーザ素子の高温、高出力動作を改善することができる。

【0041】また、第 1 実施形態と同様に、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 活性層 202 と ($Al_{0.7}Ga_{0.3}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 103、106 との間に、構成元素として Al と窒素を含まない $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 中間層 104a、104b をそれぞれ設けている。これにより、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 活性層 202 の表面荒れや発光効率の低下を抑制している。

【0042】共振器構造の途中で、成長層表面を大気にさらすと、成長層表面に酸化膜が形成されて屈折率が変動し、共振器構造の共振条件がずれてしまうおそれがある。第 2 実施形態では、活性層 202 を挟んで下部半導体多層膜反射鏡 201 と上部半導体多層膜反射鏡 205 を、連続した 1 回の結晶成長で作製できるので、共振器

の設計、製作が容易になる。

【0043】このように、第 2 実施形態は、請求項 2 に係る発明の一実施形態であり、GaAs 基板 101 上に、($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と (Al_bGa_{1-b}) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) を交互に積層して形成した下部多層膜反射鏡 201 と、発光層 202 と、($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($b < a \leq 1$) と (Al_bGa_{1-b}) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層 ($0 \leq b < a$) を交互に積層して形成した上部多層膜反射鏡 205 とを積層し、前記 GaAs 基板 101 に対して垂直な方向に

光を放射する面発光型半導体レーザ素子において、前記発光層 202 に、構成元素として窒素を含む $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 混晶半導体を用いたので、上記第 1 実施形態と同様な効果を奏するだけでなく、活性層の下部と上部に形成する半導体多層膜反射鏡を 1 回の結晶成長で作製することができ、共振器の設計、製作が容易で安定に動作する。

【0044】次に、請求項 3 に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態の面発光型半導体レーザ素子は、請求項 2 に係る発明の実施形態の面発光型半導体レーザ素子において、構成元素として窒素を含む $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層と、($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ からなる障壁層もしくは光導波層もしくはクラッド層との間に、構成元素として Al と窒素を含まない III~V 族半導体材料からなる中間層を設けたことを特徴としている。

【0045】本発明の発明者による実験において、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層をその構成元素として Al を含む ($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層の上に直接形成すると、表面モフォロジーがラフになり、室温フォトルミネ

ッセンス強度が低下することが見出された。そこで、請求項 3 に係る発明の実施形態では、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層と、($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ からなる障壁層もしくは光導波層もしくはクラッド層との間に、構成元素として Al と窒素を含まない III~V 族半導体材料からなる中間層を設けている。これにより、 $Ga_{0.6}In_{0.4}N_{0.005}P_{0.995}$ 発光層の表面荒れや発光効率の低下を抑制することができる。

【0046】次に、請求項 4 に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態の面発光型半導体レーザ素子は、請求項 2 または 3 に係る発明の実施形態の面発光型半導体レーザ素子において、発光層とコンタクト層を除く半導体層構造を、AlInP、GaInP または AlInP と GaInP を周期的に積層した超格子構造で構成したことを特徴としている。

【0047】通常の AlGaInP 系面発光型半導体レーザ素子は、半導体多層膜反射鏡の高屈折率層、低屈折率層及びクラッド層、障壁層等が ($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ ($0 < w \leq 1$) の 4 元結晶から構成される。この結晶組成比 w、z は必ずしも各層で一定とはなっていない。($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ の 4 元結晶の組成は、Al と Ga と In の原料の成長室への供給比率を変えることによって制御される。

【0048】例えば、有機金属気相成長法の場合、Ga 原料である TMG、Al 原料である TMA、In 原料である TMI の各シリンダーに流すキャリア水素ガスの流量をマスフローコントローラによって制御している。また、分子線エピタキシ法の場合には、Ga、Al、In の各原料セルの温度を変えることによって Ga、Al、In の供給量を制御している。このため、組成の異なる ($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ の 4 元結晶を連続して成長させる場合には、成長中断時間を入れてマスフローコントローラの流量やセルの温度を変更しなければならない。

【0049】請求項 4 に係る発明の実施形態においては、($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ の 4 元結晶を、同等の禁制帯幅を有する AlInP/GaInP 3 元混晶の超格子構造に置き換えている。従って、実効的に組成の異なる ($Al_{1-x}Ga_{1-x}$) $_{0.5}In_{0.5}P$ 層をバルブの切り換え、またはシャッターの開閉のみで制御して形成することが可能となる。そのため、結晶成長工程が簡単になり、また 4 元結晶の組成ばらつきを小さくすることができる。

【0050】図 3 は本発明の第 3 実施形態の面発光型半導体レーザ素子の構造断面を示す。この面発光型半導体レーザ素子は、請求項 3 に係る発明の一実施形態及び請求項 4 に係る発明の一実施形態であり、上記第 2 実施形態の面発光型半導体レーザ素子と積層構造を除いて同様な構造となっている。

【0051】この第 3 実施形態の面発光型半導体レーザ

10

20

30

40

50

素子は、n型GaAs基板101の上に、n型半導体多層膜反射鏡301、n型Al_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層302、多重量子井戸発光部303、p型Al_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層304、p型Ga_{0.5}In_{0.5}P層107、p型GaAsコンタクト層204、ノンドープ半導体多層膜反射鏡305が順にエピタキシャル成長されている。p型GaAsコンタクト層204上にはリング状のp側電極111を形成し、基板101の裏面にn側電極112を蒸着して形成した。

【0052】n型半導体多層膜反射鏡301は、図4 [a] に示すように低屈折率層401と高屈折率層402が発光波長の1/4光学波長厚で交互に25対積層して形成されている。低屈折率層401は、SeドープAl_{0.5}In_{0.5}Pからなっており、高屈折率層402は層厚4.5nmのSeドープGa_{0.5}In_{0.5}Pと層厚1.5nmのSeドープAl_{0.5}In_{0.5}Pの超格子構造から構成されている。この超格子構造の禁制帯幅は、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}Pとほぼ一致するようになっている。同様に、ノンドープ半導体多層膜反射鏡305は、ノンドープAl_{0.5}In_{0.5}PとノンドープGa_{0.5}In_{0.5}P/ノンドープAl_{0.5}In_{0.5}Pの超格子構造が交互に20対積層されて形成されている。

【0053】また、図4 [b] は多重量子井戸発光部303の構造を示す。多重量子井戸発光部303は、層厚3nmのGa_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}を井戸層404とし、層厚3nmのAl_{0.5}In_{0.5}Pを障壁層405としている。井戸層404の数は5個とした。Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}井戸層404の発光波長は650nmとなっている。そして、Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}井戸層404は、窒素を導入したことによって、p型Al_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層304との伝導帯バンド不連続が大きくなるため、レーザ素子の高温、高出力動作を改善することができる。

【0054】Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}井戸層404と、n型Al_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層302またはAl_{0.5}In_{0.5}P障壁層405またはp型Al_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層304との間には、それぞれGa_{0.5}In_{0.5}P中間層403を2分子挿入している。これにより、Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}井戸層404の表面荒れや発光効率の低下を抑制している。

【0055】また、第3実施形態の面発光型半導体レーザ素子においては、Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}井戸層404とp型GaAsコンタクト層204を除いて、積層構造がGaAs基板101に格子整合するAl_{0.5}In_{0.5}PとGa_{0.5}In_{0.5}Pの3元結晶のみで構成されている。従って、積層構造は、結晶成長させる時にバルブの切り換え、またはシャッターの開閉のみで制御して形成することが可能となる。そのため、結晶成長工程が簡単になっている。更に、AlGaInPの4元結晶を、同等の禁制帯幅を有するGa_{0.5}In_{0.5}P/Al

{0.5}In{0.5}Pの超格子構造に置き換えている。従って、4元結晶の組成ばらつきを小さくすることができる。

【0056】このように、第3実施形態は、請求項3に係る発明の一実施形態であり、請求項2記載の面発光型半導体レーザ素子において、構成元素として窒素を含むGa_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}発光層としての井戸層404と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}Pからなる障壁層もしくは光導波層もしくはクラッド層としてのAl_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層302、304との間に、構成元素としてAlと窒素を含まないIII-V族半導体材料からなる中間層としてのGa_{0.5}In_{0.5}P中間層403を設けたので、上記第3実施形態と同様な効果を奏するだけでなく、Ga_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}発光層の結晶性を向上させることができ、レーザ素子の発光特性を改善することができる。

【0057】また、第3実施形態は、請求項4に係る発明の一実施形態であり、請求項2または3記載の面発光型半導体レーザ素子において、発光層としての井戸層404とコンタクト層としてのp型GaAsコンタクト層204を除く半導体層構造を、AlInP、GaInPまたはAlInPとGaInPを周期的に積層した超格子構造で構成したので、上記第2実施形態と同様な効果を奏するだけでなく、各結晶成長層をバルブの切り換え、またはシャッターの開閉のみで制御して形成することが可能となり、結晶成長工程が簡単になってより製作が容易になり、結晶の組成ばらつきを小さくすることができて特性ばらつきを少なくすることができる。

【0058】次に、請求項5に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態の光ディスク記録再生装置は、請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたことを特徴とする。光ディスク記録再生装置においては、記録密度を向上させるために、記録再生用光源である半導体レーザの発光波長として、より短波長の光源が求められている。現在、DVD等の光ディスク記録再生装置の光源として、650nm帯の面発光型半導体レーザ素子が用いられている。

【0059】一般に、面発光型半導体レーザ素子は、近視野像が楕円形になり、レーザスポット径を波長の回折限界まで絞ることができない。しかし、光ディスク記録再生装置の光源として面発光型半導体レーザ素子を用いると、真円に近いスポット形状が得られるため、レーザ光をより微細なスポットに絞ることが可能となる。光ディスク記録再生装置の光源としてGa_{0.5}In_{0.5}N_{0.005}P_{0.995}材料を発光層に用いた0.6μm帯の面発光型半導体レーザ素子を用いることによって、より高密度の記録が可能となり、また温度特性が良好な光ディスク記録再生装置を実現することができる。

【0060】図5は本発明の第4実施形態の光ディスク記録再生装置を示す。この第4実施形態の光ディスク記録再生装置は、請求項5に係る発明の一実施形態であ

10

20

30

40

50

る。上記第1実施形態～第3実施形態のいずれかの面発光型半導体レーザ素子501から放射されたレーザ光は、レンズ502で集光され、ビームスプリッタ503を通して追従鏡504で反射され、絞り込みレンズ505で集光されて光ディスク508の記録面に導かれる。光ディスク508に情報を記録する場合には、入力情報に応じて面発光型半導体レーザ素子501が駆動回路にて情報により変調駆動されてレーザ光強度が入力情報に応じて変調され、光ディスク508の記録面に情報が記録される。

【0061】また、情報再生時には、光ディスク508で反射されたレーザ光は、絞り込みレンズ505、追従鏡504を通り、ビームスプリッタ503で一部が反射されてレンズ506により集光され、光検出器507に導かれて検出される。光ディスク508からの反射光は光ディスク508の記録面の情報に応じて変調されるため、光検出器507で情報が電気信号として再生される。

【0062】この第4実施形態の光ディスク記録再生装置においては、発光層として発光波長650nmのGaInNP混晶材料を用いた面発光型半導体レーザ素子を光源に組み込んでおり、その発光波長が650nmであり、レーザスポット形状が真円に近い、レーザ光を微小なスポットに絞ることができる。そのため、より高密度の情報記録が可能である。さらに、GaInNP系レーザは高温高出力動作が改善されるため、光ディスク記録再生装置の温度特性が良好となる。

【0063】このように、第4実施形態は、請求項5に係る発明の一実施形態であり、請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子501を光源として備えたので、より高密度の記録が可能となり、また温度特性が良好となる。

【0064】次に、請求項6に係る発明の実施形態について説明する。この実施形態のプラスチック光ファイバ用光送信装置は、請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子を光源として備えたことを特徴とする。プラスチック光ファイバは、石英光ファイバに比べて伝送損失は大きい、価格が安価であり、曲げ特性が良好であるという特徴を有している。

【0065】従って、プラスチック光ファイバは、一般家庭で用いる近距離の光ファイバ通信用途への応用が検討されている。プラスチック光ファイバは、赤色領域で吸収損失が低くなる特性を有しており、0.6μm帯の半導体レーザ素子がプラスチック光ファイバ用光送信装置の光源として適切である。また、面発光型半導体レーザ素子は、放射角が約10度と狭いため、光ファイバとの光結合効率が高くなる。

【0066】プラスチック光ファイバ用光送信装置の光源として、Ga_xIn_{1-x}NyPy材料を発光層に用いた0.6μm帯の面発光型半導体レーザ素子を用いるこ

とによって、光結合効率が高く、温度特性が良好なプラスチック光ファイバ用光送信装置を実現できる。

【0067】図6は本発明の第5実施形態のプラスチック光ファイバ用光送信装置を示す。この第5実施形態のプラスチック光ファイバ用光送信装置は、請求項6に係る発明の一実施形態であり、請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子603を光源として備えたことを特徴とする。この第5実施形態のプラスチック光ファイバ用光送信装置601は、電気信号が入力されると、この入力信号を光信号に変換して、接続されているプラスチック光ファイバ604に送信する。光送信装置601内の駆動回路602は光送信装置601に入力された電気信号に応じて面発光型半導体レーザ素子603の動作電圧を変調することにより、面発光型半導体レーザ素子603から出力されるレーザ光の強度を変調する。

【0068】プラスチック光ファイバ用光送信装置601の光源として用いた面発光型半導体レーザ素子603の発光層にはGaInNPが用いられており、その発光波長が680nmであり、プラスチック光ファイバ604中での光の吸収損失を抑制することができる。そして、GaInNP系レーザは高温高出力動作が改善されているため、プラスチック光ファイバ用光送信装置601の温度特性が良好となる。また、面発光型半導体レーザ素子においては放射角が約10度と狭いため、プラスチック光ファイバとの光結合効率を高くすることができる。

【0069】このように、第5実施形態は、請求項6に係る発明の一実施形態であり、請求項1～4のいずれかに記載の面発光型半導体レーザ素子603を光源として備えたので、プラスチック光ファイバとの光結合効率が高く、温度特性が良好となる。

【0070】

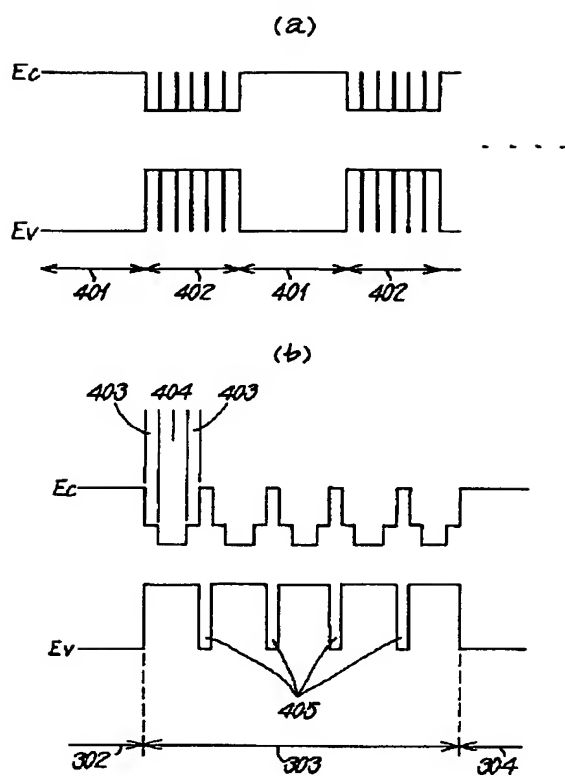
【発明の効果】以上のように請求項1に係る発明によれば、上記構成により、発光層は窒素の導入により障壁層と伝導帯バンド不連続が大きくなり、電子の障壁層側へのオーバーフローが小さくなる。従って、0.6μm帯の可視域において高温高出力動作を改善することができる。

【0071】請求項2に係る発明によれば、上記構成により、請求項1記載の面発光型半導体レーザ素子と同様な効果を奏するだけでなく、活性層の下部と上部に形成する多層膜反射鏡を1回の結晶成長で作製することができ、共振器の設計、製作が容易で安定に動作する。

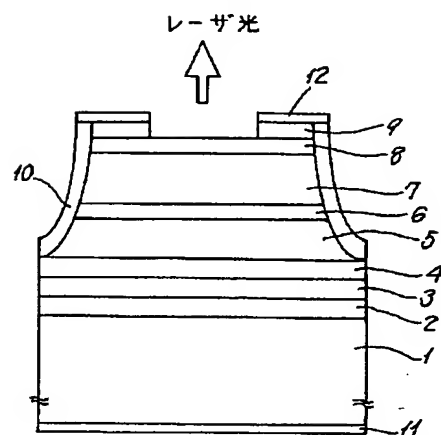
【0072】請求項3に係る発明によれば、上記構成により、請求項2記載の面発光型半導体レーザ素子と同様な効果を奏するだけでなく、発光層の結晶性を向上させることができ、レーザ素子の発光特性を改善することができる。

【0073】請求項4に係る発明によれば、上記構成に

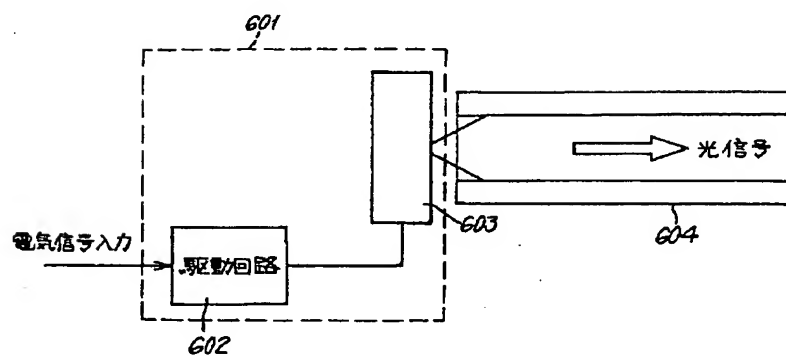
【図4】



【図7】



【図6】



【図 8】

